

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-240278

(43)Date of publication of application : 26.08.2004

(51)Int.Cl.

G02F 1/35

H01S 3/30

H04B 10/16

H04B 10/17

(21)Application number : 2003-030776

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 07.02.2003

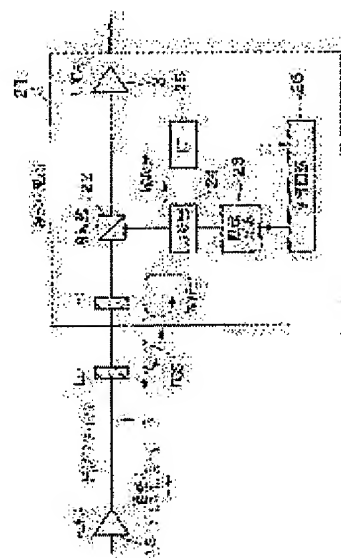
(72)Inventor : MASUDA KOJI  
TOMIZAWA MASAHIRO  
MIYAMOTO YUTAKA  
TADA YASUHIKO

## (54) OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM USING DISTRIBUTION RAMAN AMPLIFICATION

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical fiber communication system using distribution Raman amplification which is constructed at low cost and installed without especially spending time and effort.

**SOLUTION:** A transmission fiber 1 is a transmission route of signal light and has a loss material LE-2. A linear relay device 21 is connected to the transmission fiber 1. The linear relay device 21 is equipped with an excitation light source 23, a multiplexer 22 to multiplex excitation light and the signal light, the loss material LE-1 existing between the multiplexer 22 and the transmission fiber 1, a demultiplexer 24 to separate reflected excitation light reflected by the transmission fiber 1 and emitted excitation light emitted from the excitation light source 23, a receiver 25 to receive the reflected excitation light emitted from the demultiplexer 24 and a control circuit 26 to control the excitation light source so as to keep Raman gain constant based on variation of a level of the reflected excitation light received with the receiver 25.



(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-240278

(P2004-240278A)

(43) 公開日 平成16年8月26日(2004.8.26)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード (参考)

G02F 1/35

G02F 1/35

5 O 1

2 K 0 0 2

H01S 3/30

H01S 3/30

Z

5 F 0 7 2

H04B 10/16

H04B 9/00

J

5 K 1 0 2

H04B 10/17

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願2003-30776 (P2003-30776)

(22) 出願日

平成15年2月7日(2003.2.7)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武

(74) 代理人 100108453

弁理士 村山 靖彦

(72) 発明者 増田 浩次

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 富沢 将人

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

最終頁に続く

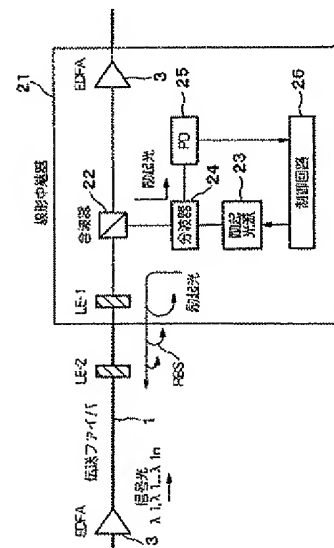
(54) 【発明の名称】 分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム

## (57) 【要約】

【課題】安価に構成することができ、かつ、特別な手間をかけずに設置することができる分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムを提供する。

【解決手段】伝送ファイバ1は信号光の伝送路であり、損失体LE-2を有する。この伝送ファイバ1に線形中継器21が接続されている。線形中継器21には、励起光源23と、励起光と信号光を合波する合波器22と、合波器22と伝送ファイバ1の間に存在する損失体LE-1と、伝送ファイバ1から反射した反射励起光を励起光源23から出射した出射励起光とを分波する分波器24と、分波器24から出射した反射励起光を受光する受光器25と、受光器25で受光した反射励起光レベルの変化量に基づいてラマン利得が一定となるように励起光源を制御する制御回路26が設けられている。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項1】**

信号光の伝送路であり、第1の損失体を有する伝送ファイバと、前記伝送ファイバが接続される線形中継器とからなる光ファイバ通信システムであって、前記線形中継器が、前記伝送ファイバをラマン励起する励起光を出力する励起光源と、前記励起光と前記信号光を合波する合波器と、前記合波器と前記伝送ファイバの間に存在する第2の損失体と、前記合波器と前記励起光源の間または前記励起光源内に設置され、前記伝送ファイバから反射した反射励起光を前記励起光源から出射した出射励起光と、その伝播方向の違いによって分波する分波器と、前記分波器から出射した反射励起光を受光する第1の受光器と、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量に基づいてラマン利得が一定となるように前記励起光源を制御する制御回路と、を具備することを特徴とする分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

**【請求項2】**

前記制御回路は、前記励起光パワーの増加量が、前記第1、第2の損失体の損失量の変動に基づく前記反射励起光レベルの減少量の $1/2$ となるように前記励起光源を制御することを特徴とする請求項1に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

**【請求項3】**

前記制御回路は、前記線形中継器から前記第1の損失体までの距離に基づいて前記励起光源を駆動制御することを特徴とする請求項1に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

**【請求項4】**

信号光経路に設置されたタップカプラと、前記タップカプラで分岐した伝播光から信号光以外の雑音光を除去する波長固定光フィルタと、前記波長固定光フィルタを出射したトータル信号光パワーを検出する第2の受光器とをさらに具備し、前記制御回路は、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量および前記第2の受光器で受光した前記トータル信号光パワーに基づいて線形中継器への入力信号光パワーが一定になるように前記励起光源を制御することを特徴とする請求項1に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

**【請求項5】**

信号光のチャンネル数を検出する監視チャンネル光受光手段をさらに具備し、前記制御回路は、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量、前記第2の受光器で受光した前記トータル信号光パワーおよび前記監視チャンネル光受光手段で得られた信号光チャンネル数から算出したチャンネル当りの信号光パワーに基づいて線形中継器への入力信号光パワーが一定になるように前記励起光源を制御することを特徴とする請求項4に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

**【請求項6】**

信号光の伝送路である伝送ファイバと、前記伝送ファイバが接続される線形中継器とからなる光ファイバ通信システムであって、前記線形中継器が、前記伝送ファイバをラマン励起する励起光を出力する励起光源と、前記励起光と前記信号光を合波する合波器と、前記合波器と前記励起光源の間または前記励起光源内に設置され、前記伝送ファイバから反射した反射励起光を前記励起光源から出射した出射励起光と、その伝播方向の違いによって分波する分波器と、前記分波器から出射した反射励起光を受光する第1の受光器と、

前記伝送ファイバを線形中継器に接続するコネクタ対と、  
前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量に基づいて、前記コネクタ対の外れ、または、コネクタ残留反射異常を検出する制御回路と、  
を具備することを特徴とする分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

【請求項7】

前記制御回路は、前記コネクタ対の外れを検出した場合に、前記励起光源を前記制御回路により遮断し、前記出射励起光レベルをシステム保守者の安全レベル以下に制御することを特徴とする請求項6に記載の光ファイバ通信システム。

【請求項8】

前記分波器がサーキュレータであることを特徴とする請求項1～請求項7のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

【請求項9】

前記励起光源内に、前記出射励起光レベルを検出するためのタップカプラと、前記タップカプラから出射した励起光を受光する受光器とを備えたことを特徴とする請求項1～請求項8のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

【請求項10】

前記励起光源内のレーザダイオード後端面に隣接して、出射励起光レベルを検出するための受光器を備えたことを特徴とする請求項1～請求項8のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

【請求項11】

前記制御回路内に、前記励起光源の駆動レベルと出射励起光レベルのテーブルを備えたことを特徴とする請求項1～請求項8のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光信号を伝送路であるところの敷設光ファイバ中で分布ラマン増幅する光ファイバ通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

図8は、従来の光ファイバ通信システムの構成を示している。伝送路である伝送ファイバ1と線形中継器2が接続されている。その線形中継器2は集中定数型の光増幅器であるエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)3と、分布ラマン増幅のための励起光源4と、その励起光源4からの励起光を信号光と合波するための合波器5と、分布ラマン増幅による信号光のラマン利得(G)を検出するための光部品、すなわち光スペクトルアナライザ(光スペアナ)6、タップカプラ7および励起光源4を制御するための制御回路8を有する。光スペアナ6は一般的に波長可変光フィルタ11と、高感度な受光器12を有する。その高感度な受光器12は、アバランシェフォトダイオード(APD)や、暗電流雑音の影響を受けない高価なフォトダイオードを用いた電子回路である。分布ラマン増幅の利得媒質は前記伝送ファイバ1そのものであり、励起光はその伝送ファイバ1に導入されて、その伝送ファイバ1を光励起する。

【0003】

図8には、線形中継器2内の損失体(光コネクタやパッチコード)LE-1および伝送ファイバ1内の損失体(ファイバ融着点や光コネクタ)LE-2が描かれている。損失体LE-2は、道路工事時の事故による伝送ファイバ断を修復する過程において修復前後で変化する。例えばその典型的变化量は0.5～1.0dB程度である。また、損失体LE-1は、支障移転に伴う伝送ファイバ1の接続変更時に変化する。例えばその典型的变化量は0.5～2.0dB程度である。損失体LE-1およびLE-2の損失値が変化すると、伝送ファイバ1を伝播する経路平均の励起光パワーが変化し、ラマン利得が変化してしまう。そこで、従来は以下の制御を行なっている。

## 【0004】

図8の左端に描かれたEDFA13は、上流の線形中継器内のEDFAを表している。ラマン利得を検出するため、EDFA13から出射し、伝送ファイバ1を伝播した後、線形中継器2に入射した波長多重(WDM)の信号光(その波長を $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ とする)は、タップカプラ7で分岐され、光スเปアナ6に入射する。光スเปアナ6に入射した信号光はスペクトル分析され、あらかじめラマン利得がない場合の受光信号光レベルとの比較を行なうなどして、各波長におけるラマン利得(ラマン利得スペクトル)が算出される。さらに、そのラマン利得スペクトルが所期値になるように制御回路8にて励起光源4を制御する。具体的には、測定したラマン利得が所期値より小さければ励起光パワーを増加させ、逆に、測定したラマン利得が所期値より大きければ励起光パワーを減少させる。また、一般的に励起光源は多波長のレーザダイオードからなる。また、伝送ファイバ1と線形中継器2は、一对の光コネクタで接続されている。この光コネクタが、線形中継器2の保守作業などのために、誤って外された場合、線形中継器2側の光コネクタから高出力の励起光が出射する。

## 【0005】

## 【非特許文献1】

矢野他、「多波長励起ラマンアンプ利得平坦化のための励起光パワー自動調整方式検討(2)」、電子情報通信学会総合大会、B-10-46、p. 483、2002

## 【非特許文献2】

曾部他、「多波長励起ラマンアンプ利得平坦化のための励起光パワー自動調整方式検討(1)」、電子情報通信学会総合大会、B-10-45、p. 482、2002

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

上述したように、従来技術では、高価な光スเปアナ6が必要である。また、EDFA13から線形中継器2に入射する信号光スペクトルを、ラマン利得がない場合について予め測定する必要があるため、上流の線形中継器内に多波長の信号光源を設置して、高精度に動作させることが必要となる。しかし、多波長の信号光源は高価であり、また、それを高精度に動作させるには多くの手間がかかるという問題がある。また、光コネクタから高出力の励起光が出射した場合には、作業保守者の目に傷害が生じるなどの危険が発生するという問題がある。

## 【0007】

本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的は、安価に構成することができ、かつ、特別な手間をかけずに設置することができる分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムを提供することにある。

また、この発明の他の目的は、光コネクタの異常を即座に検出することができ、これにより、作業、保守者の目に障害が生じる危険を防止することができる分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムを提供することにある。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

この発明は上記の課題を解決するためになされたもので、請求項1に記載の発明は、信号光の伝送路であり、第1の損失体を有する伝送ファイバと、前記伝送ファイバが接続される線形中継器とからなる光ファイバ通信システムであって、前記線形中継器が、前記伝送ファイバをラマン励起する励起光を出力する励起光源と、前記励起光と前記信号光を合波する合波器と、前記合波器と前記伝送ファイバの間に存在する第2の損失体と、前記合波器と前記励起光源の間または前記励起光源内に設置され、前記伝送ファイバから反射した反射励起光を前記励起光源から出射した出射励起光と、その伝播方向の違いによって分波する分波器と、前記分波器から出射した反射励起光を受光する第1の受光器と、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量に基づいてラマン利得が一定となるように前記励起光源を制御する制御回路とを具備することを特徴とする分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムである。

## 【0009】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記制御回路は、前記励起光パワーの増加量が、前記第1、第2の損失体の損失量の変動に基づく前記反射励起光レベルの減少量の $1/2$ となるように前記励起光源を制御することを特徴とする。

請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記制御回路は、前記線形中継器から前記第1の損失体までの距離に基づいて前記励起光源を駆動制御することを特徴とする。

## 【0010】

請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、信号光経路に設置されたタップカプラと、前記タップカプラで分岐した伝播光から信号光以外の雑音光を除去する波長固定光フィルタと、前記波長固定光フィルタを出射したトータル信号光パワーを検出する第2の受光器とをさらに具備し、前記制御回路は、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量および前記第2の受光器で受光した前記トータル信号光パワーに基づいて線形中継器への入力信号光パワーが一定になるように前記励起光源を制御することを特徴とする。

## 【0011】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、信号光のチャンネル数を検出する監視チャネル光受光手段をさらに具備し、前記制御回路は、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量、前記第2の受光器で受光した前記トータル信号光パワーおよび前記監視チャネル光受光手段で得られた信号光チャンネル数から算出したチャンネル当りの信号光パワーに基づいて線形中継器への入力信号光パワーが一定になるように前記励起光源を制御することを特徴とする。

## 【0012】

請求項6に記載の発明は、信号光の伝送路である伝送ファイバと、前記伝送ファイバが接続される線形中継器とからなる光ファイバ通信システムであって、前記線形中継器が、前記伝送ファイバをラマン励起する励起光を出力する励起光源と、前記励起光と前記信号光を合波する合波器と、前記合波器と前記励起光源の間または前記励起光源内に設置され、前記伝送ファイバから反射した反射励起光を前記励起光源から出射した出射励起光と、その伝播方向の違いによって分波する分波器と、前記分波器から出射した反射励起光を受光する第1の受光器と、前記伝送ファイバを線形中継器に接続するコネクタ対と、前記第1の受光器で受光した前記反射励起光レベルの変化量に基づいて、前記コネクタ対の外れ、または、コネクタ残留反射異常を検出する制御回路とを具備することを特徴とする分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムである。

## 【0013】

請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の光ファイバ通信システムにおいて、前記制御回路は、前記コネクタ対の外れを検出した場合に、前記励起光源を前記制御回路により遮断し、前記出射励起光レベルをシステム保守者の安全レベル以下に制御することを特徴とする。

請求項8に記載の発明は、請求項1～請求項7のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記分波器がサーキュレータであることを特徴とする。

## 【0014】

請求項9に記載の発明は、請求項1～請求項8のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記励起光源内に、前記出射励起光レベルを検出するためのタップカプラと、前記タップカプラから出射した励起光を受光する受光器とを備えたことを特徴とする。

請求項10に記載の発明は、請求項1～請求項8のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記励起光源内のレーザダイオード後端面に隣接して、出射励起光レベルを検出するための受光器を備えたことを特徴とする。

請求項11に記載の発明は、請求項1～請求項8のいずれかの項に記載の分布ラマン増幅を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記制御回路内に、前記励起光源の駆動レベルと出射励起光レベルのテーブルを備えたことを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】

〔第1実施形態〕

図1はこの発明の第1の実施の形態による光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。この図に示す実施形態が図8に示す従来技術と異なる点は以下の点である。本実施形態では、励起光のレイリー後方散乱光RBSを検出してラマン利得をモニタしている。一方、従来技術では、信号光をタップして、信号光パワーのモニタ値からラマン利得を算出する。伝送ファイバ1中で発生したレイリー後方散乱光RBSは、損失体LE-1およびLE-2を1往復して信号光と励起光の合波器22に達し、励起光源23方向に戻るよう伝播する。合波器22を出射したレイリー後方散乱光RBSは、合波器22と励起光源23の間に設置された分波器24で、励起光源23から出射する励起光と分離され、分波器24に接続されたフォトダイオード(PD)25に入射する。本実施形態は、信号光と励起光の方向が逆であるいわゆる後方向励起の場合であるが、信号光と励起光の方向が同方向である、いわゆる前方向励起の場合にもその構成の対象性から明らかに同様のことが成り立つ。

【0016】

いま、PD25で受光したレイリー後方散乱光RBSのパワーをPref1とし、励起光源23から出射した励起光パワーをPinとする。ただし、Pref1およびPinはdB単位の値であるとする。また、初期状態におけるPref1およびPinの値をそれぞれPref11およびPin1、損失体LE-1、LE-2の損失値(L1、L2とする)の少なくともどちらか一方が変化したときのPref1およびPinの値をそれぞれPref12およびPin2とする。Pref1の減少量を

$$\Delta Pref1 = Pref11 - Pref12$$

また、Pinの増加量を

$$\Delta Pin = Pin2 - Pin1$$

とする。本実施形態においては、

$$\Delta Pin = \Delta Pref1 / 2$$

すなわち、 $\Delta Pin$ が $\Delta Pref1$ の半分になるように制御を行なう。

【0017】

図2は、本実施形態におけるラマン利得スペクトルを示している。励起光源23の励起光波長は2波長(1460nmおよび1500nm)とした。利得波長域はいわゆるL帯(約1570-1600nm)であり、初期状態のスペクトル平均利得は約8dBである。損失体LE-1の損失L1が1.6dB増加した場合、すなわち、 $\Delta Pref1 = 1.6$ dBの場合、制御なしの時には、ラマン利得が約3dB低下している、一方、制御を行なった場合、ラマン利得変化は約0.1dB以内であった。

【0018】

図3は、ラマン利得変化量の損失部距離依存性を示している。その損失部距離とは、励起光源23から損失体LE-1またはLE-2までのファイバ軸方向距離である。通常、励起光源23から損失体LE-1までの距離は高々数100mである。また、伝送ファイバ長は約100kmであった。損失体LE-1またはLE-2の損失値増加量( $\Delta L$ )が1.6dBおよび0.6dBの場合につき示されている。制御がない場合のラマン利得変化量(減少量) $\Delta G$ は、 $\Delta L$ が1.6dBおよび0.6dBの場合、 $\Delta G$ の最大値は2.9dBおよび1.4dBであった。

【0019】

一方、制御ありの場合の $\Delta G$ は、 $\Delta L$ が1.6dBおよび0.6dBの場合、 $\Delta G$ の最大値は0.8dBおよび0.4dBであった。したがって、本実施形態により、ラマン利得の一定制御が0.8dB以内の精度で実現されていることがわかる。特に、損失部距離が

約1 km以内の場合の制御精度はよく、0.1 dB程度以内の制御が実現している。これは、損失部距離が約1 km以内の場合、 $\Delta Pref1/2$ が $\Delta L$ にほぼ等しくなるため、損失体LE-1またはLE-2による励起光の損失増を、Pinの増加 $\Delta Pin = \Delta Pref1/2$ によりほぼ完全に補償しているからである。したがって、本実施形態例は損失部距離が約1 km以内の場合に、特に有効である。

#### 【0020】

本実施形態における検出光レベル、すなわち、レイリー後方散乱光RBSのパワーレベルPref1は約-7 dBmであった。一方、従来技術における各信号光チャネルの検出光レベル、すなわち、光スベアナ6での受光レベルは約-35 dBmであった。したがって、従来技術では高感度なフォトダイオードであるAPD12が必要であるが、本実施形態では安価な通常感度のフォトダイオードが使用できるという利点がある。

さらに、従来技術の検出光である信号光は線幅が狭く、干渉性が高いため干渉雑音劣化を受けやすい。一方、本実施形態の検出光である励起光は線幅が広く、干渉性が低いため干渉雑音劣化を受けにくいという利点がある。

#### 【0021】

##### 〔第2実施形態〕

図4は、本発明第2実施形態の光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。この図に示す実施形態が図1に示す本発明の第1実施形態と異なる点は次の点である。第1実施形態では、制御に用いる入力情報としてPD25からの励起光の反射レベルPref1を用いた。一方、本実施形態では、Pref1に加えて、損失体LE-2の線形中継器31からの距離情報を制御回路32に入力する。その距離をD2とする。Pref1の減少量 $\Delta Pref1$ は、損失体LE-2の損失値が同じ場合、距離D2が大きいほど小さくなる。一方、ラマン利得Gの減少量 $\Delta G$ も距離D2が大きいほど小さくなるが、 $\Delta Pref1$ の減少量の方が $\Delta G$ の減少量より大きい。これは、ラマン利得Gが励起光パワーの伝送ファイバ長に渡る平均パワー(Pave)に比例するのに対し、Pref1はPaveの2乗と相関の良い量であるからである。

#### 【0022】

距離D2が知られた場合には、励起光の線形中継器31から損失体LE-2までの損失Ld2がわかり、 $\Delta Pref1$ から損失体LE-2の損失値L2を算出でき、Ld2とL2から入力励起光パワーPinに対する利得Gの対応関係がわかる。したがって、L2の変化によらず利得Gを一定にするPin(Pin2)の値を算出でき、制御回路32により励起光源を駆動して利得G一定制御を行なうことができる。

#### 【0023】

本実施形態では、損失体LE-1およびLE-2の損失値(L1およびL2)が変化したとき、まず、Pref1の減少量 $\Delta Pref1$ 情報に基づいてラマン利得Gのスペクトル一定制御を行なう。このとき、損失値L1およびL2の変化によって、利得Gが一定であっても線形中継器31到達の信号光レベルが若干変化する。すなわち、損失値L1およびL2の増加分だけ信号光レベルが減少する。そこで、その信号光レベル減少を補償する以下の制御(線形中継器31入力信号光パワーの一定制御)を追加することができる。利得Gの初期値とあらかじめ調べておいた伝送ファイバ1のラマン利得係数から、損失値L1およびL2の増加分と等しいG増加量を与えるPinの変化量(Pin3-Pin2)が算出できる。ただし、Pin3は最終的なPinの設定値である。そのPin3が得られるように制御回路32により励起光源23を駆動する。

#### 【0024】

##### 〔第3実施形態〕

図5は、本発明の第3実施形態の光ファイバ通信システムを示している。図1に示す本発明の第1実施形態と類似しているが、以下の点が主に異なる。第1実施形態では、制御に用いる入力情報としてPD25からの励起光反射レベルPref1を用いた。一方、本実施形態では、Pref1に加えて、線形中継器41の入力の信号光トータルパワーPstot、または、トータルパワーPstotおよび監視チャネル光(SVC)受光器42で



受光した信号光チャネル数(Nch)情報を用いる。トータルパワーPstotはタップカプラ43、信号光以外の雑音光を除去するための波長固定光フィルタ44および第2のPD45を用いて検出する。ただし、Pref1を検出するPD25を第1のPDとする。また、信号光チャネル数Nchは、SVC受光器42と、簡単のため図示していないが、SVC分岐用のタップカプラおよび波長固定光フィルタを用いて検出する。

#### 【0025】

本実施形態では、損失体LE-1およびLE-2の損失値L1およびL2が変化するとき、まず、Pref1の減少量 $\Delta Pref1$ 情報に基づいてラマン利得Gのスペクトル一定制御を行なう。このとき、損失値L1およびL2の変化によって、利得Gが一定であっても線形中継器41に到達の信号光レベルが若干変化する。すなわち、損失値L1およびL2の増加分だけ信号光レベルが減少する。そこで、その信号光レベル減少を補償する以下の制御(線形中継器入力信号光パワーの一定制御)を追加することができる。

#### 【0026】

まず、信号光チャネル数が一定の場合、利得Gスペクトル一定制御におけるトータルパワーPstotの変化量が測定できる。利得Gの初期値とあらかじめ調べておいた伝送ファイバ1のラマン利得係数から、損失値L1およびL2の増加分と等しい利得Gの増加量を与えるPinの変化量が算出できる。次に、信号光チャネル数Nchが変化した場合、利得Gスペクトル一定制御におけるトータルパワーPstotの変化量が測定でき、また、NchとトータルパワーPstotからチャネル当りの信号光パワーが測定できる。利得Gの初期値とあらかじめ調べておいた伝送ファイバ1のラマン利得係数から、チャネル当りの信号光パワーの減少分と等しいG増加量を与えるPinの変化量が算出できる。そのPin変化量に基づいて制御回路46により励起光源23を駆動する。

#### 【0027】

##### [第4実施形態]

図6は、本発明の第4実施形態の光ファイバ通信システムを示している。図1に示す本発明の第1実施形態と同じ動作原理で動作するが、下記のように具体的構成において第1実施形態と異なる。本実施形態では、励起光源52に隣接して設置する励起光の分波器としてサーキュレータ53を用いている。また、励起光源52は2波長(1500nmおよび1460nm)のレーザダイオードモジュール(LDM)54、55と、2波長の励起光の合波器56と、各LDM54、55からの出力パワーを分岐するタップカプラ57、58およびタップした励起光を受光するフォトダイオード59、60を有する。

#### 【0028】

分波器としては一般的に安価であることからタップカプラが用いられている。その分岐比の典型値は95:5である。一方、一般的にタップカプラより高価なサーキュレータ53を用いた場合、励起光の反射成分はサーキュレータ53で100%分波され、PD25へ導かれる。したがって、サーキュレータ53を用いた場合の方がPD25での受光レベルが約20倍(13dB)大きい。サーキュレータ53を用いた場合の典型的な受光パワーは約-7dBmである。一方、タップカプラを用いた場合の典型的な受光パワーは約-20dBmである。したがって、サーキュレータ53を用いた方が受光パワーレベルが高く、PD(フォトダイオード)の暗電流雑音などの影響を受けにくいので、反射光検出器として安価なPD25およびそれに付随した電子回路を用いることができるという利点がある。

#### 【0029】

本実施形態では、各LDM54、55の励起光出力側にタップカプラ57、58を用い、各波長の励起光の出力パワーをモニタしている。他の励起光出力パワーのモニタ法として、各レーザダイオードの後端面から出射する励起光を直近のPD(通常14ピンモジュール内に実装されている)で受光する方法がある。タップカプラ57、58を用いる場合には、励起光出力パワーがタップカプラ57、58の挿入損失で低減するという短所があるが、励起光出力パワーが正確にモニタできるという長所がある。一方、後端面のPDを用いる場合には、挿入損失がないという長所があるが、励起光出力パワーが正確にモニタで

きない場合が多いという短所がある。また、制御回路61がA/D変換回路とCPU（中央処理装置）を有し、デジタル情報処理ができる場合には、各レーザダイオードの駆動電流対出力パワー特性のテーブルを用いて、各LDM54、55からの出力励起光パワーのモニタおよび制御を行なうことができる。この場合には、出力励起光パワーをモニタするPDが省略できるという利点がある。

#### 【0030】

また、励起光反射成分の分波器は、各LDM54、55と合波器56の間に単数または複数設置してもよい。ただし、損失体LE-1およびLE-2は、一般に、2波長の波長間隔が大きい場合には無視できない波長依存の損失値を有する。したがって、各LDM54、55ごとに分波器を設置し、その損失値波長依存性を考慮して、各励起光波長ごとに制御を行なうことにより、精度の高い制御を行なうことができる。ただし、図6のように分波器（サーキュレータ53）を励起光源52の出力側に設置した場合には、2波長の励起光に対する平均の損失値をモニタでき、簡易な方法で精度の高い制御を行なうことができるという利点がある。

#### 【0031】

##### 〔第5実施形態〕

図7は、本発明第5実施形態の光ファイバ通信システムを示している。図1に示す第1の実施形態とは以下の点が主に異なる。本実施形態では、励起光のコネクタ対72、73における反射成分を受光してコネクタ外れおよびコネクタ残留反射異常を検出している。この励起光反射レベルをRとすると、コネクタ外れの場合には、光ファイバガラスと空気の界面フレネル反射が生じるので、Rは約-14dBである。また、フィジカルコンタクト（PC）接続が不完全でRが大きい場合には、Rは約-30dB～-20dB程度になる。ちなみに、良好なPC接続の場合の典型的なRは約-40dB以下である。

#### 【0032】

PC接続が良好な場合、PD25で受光される光は主に伝送ファイバ1からのレイリー後方散乱光RBSである。そのとき、線形中継器71の端面でみたときの励起光のトータル反射レベルR<sub>tot</sub>は、伝送ファイバ1からのレイリー後方散乱光RBSのレベルであり、約-30dBである。システム運用中にコネクタの着脱が生じて、PC接続が不良となり、PC接続におけるRが、例えば-30dBに劣化した場合、R<sub>tot</sub>は約-27dBになる。したがって、PD25での受光レベルが約3dB上昇するので、Pref1が約3dB上昇し、コネクタ残留反射異常を検出することができる。また、Rが約-20dBに劣化した場合、R<sub>tot</sub>は約-20dBになり、Pref1が約10dB上昇し、コネクタ残留反射異常を検出することができる。さらに、コネクタ外れが生じた場合には、R<sub>tot</sub>は約-14dBになり、Pref1が約16dB上昇する。以上のことから、例えば、コネクタ外れの検出レベルとして、Pref1の増加量が14dB以上であることとすればよい。また、コネクタ残留反射異常の検出レベルとして、Pref1の増加量が2dB以上14dB未満であること、とすればよい。

#### 【0033】

上記のように、コネクタ外れが検出された場合には、システム保守者の安全のため励起光源をシャットダウンし、コネクタから出射する励起光レベルを所定のレベル以下とする。また、コネクタ残留反射異常が検出された場合には、システム特性劣化が心配される場合には、コネクタの清掃を行なうなどの作業を加える。

以上のように、本実施例によれば、従来技術では考慮されていないコネクタ外れやコネクタ残留反射異常を検出することができる。

#### 【0034】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、効果なスペアナおよび多波長の信号光源を必要とせず、これにより、安価に構成できると共に、特別な手間をかけずに設置することができる効果が得られる。また、この発明によれば、光コネクタの異常を即座に検出することができ、これにより、作業員、保守者の目に障害が生じる危険を防止すること

ができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施形態による光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。

【図2】同第1の実施形態の効果を説明するための図である。

【図3】同第1の実施形態の効果を説明するための図である。

【図4】この発明の第2の実施形態による光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。

【図5】この発明の第3の実施形態による光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。

【図6】この発明の第4の実施形態による光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。

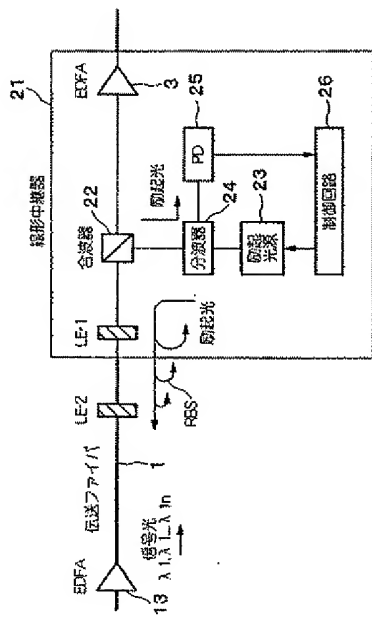
【図7】この発明の第5の実施形態による光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。

【図8】従来の光ファイバ通信システムの構成を示すブロック図である。

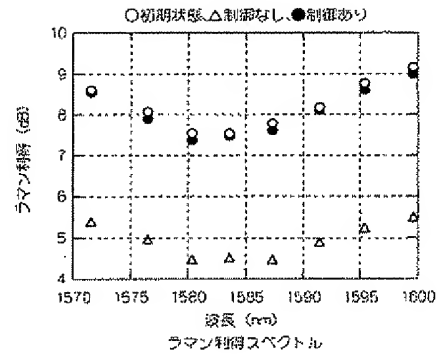
【符号の説明】

- 1…伝送ファイバ
- 21、31、41、51、71…線形中継器
- 22、56…合波器
- 23…励起光源
- 24…分波器
- 25、45、59、60…フォトダイオード
- 26、32、46、61、74…制御回路
- 42…SVC受光器
- 43、57、58…タップカプラ
- 44…波長固定光フィルタ
- 53…サーキュレータ
- 54、55…レーザダイオードモジュール
- 72、73…コネクタ
- LE-1、LE-2…損失体

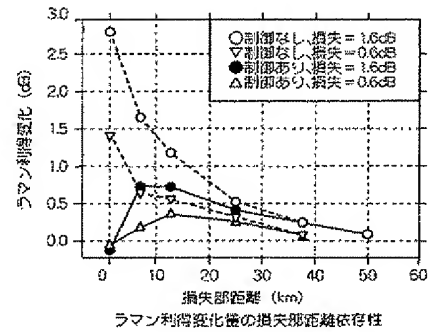
【図1】



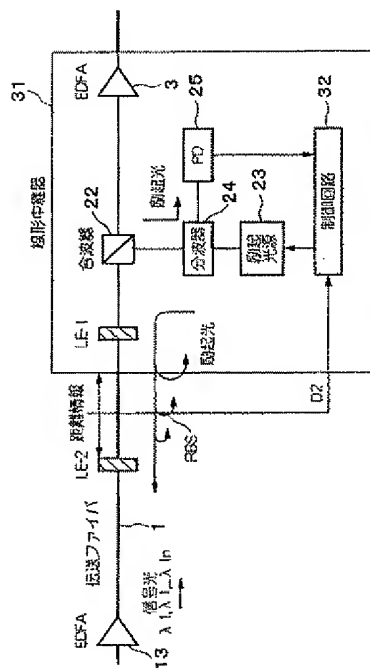
【図2】



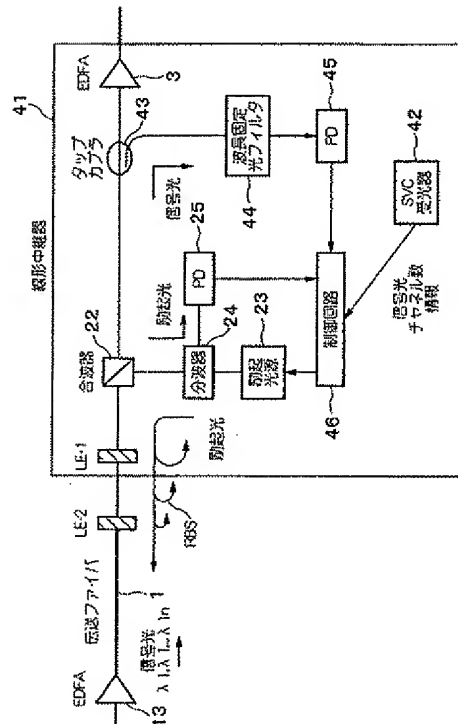
【図3】



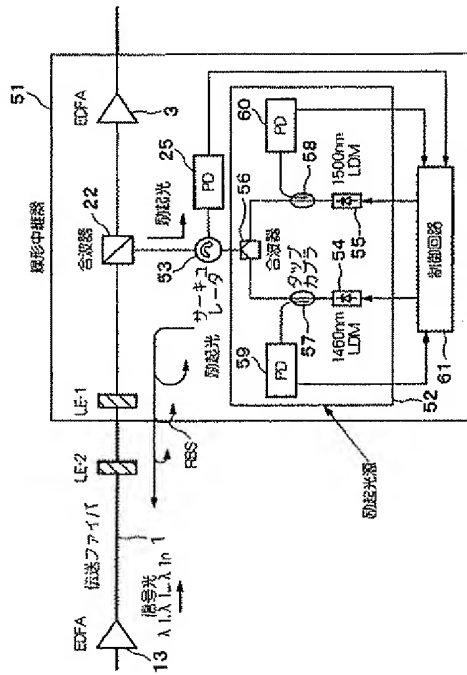
【図4】



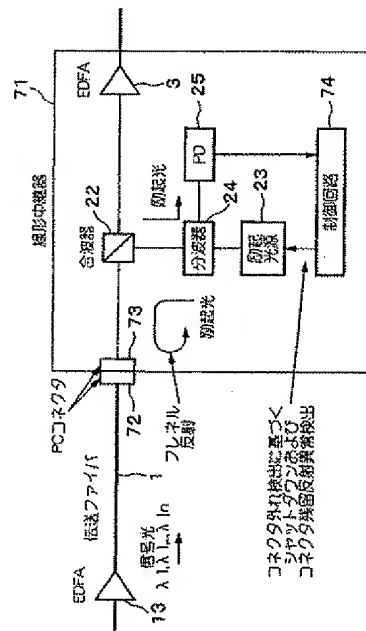
【図5】



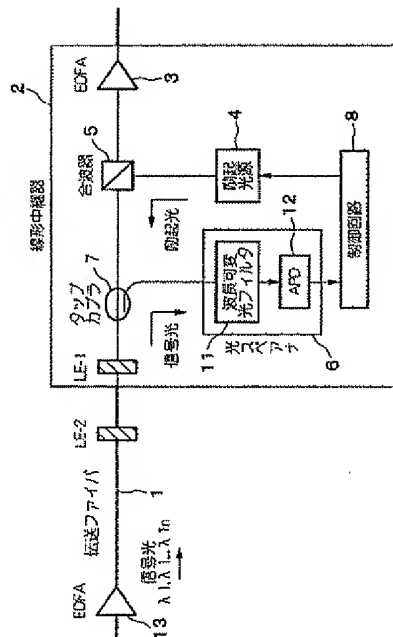
【例6】



【图7】



【图8】



(72)発明者 宮本 裕

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 多田 康彦

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA04 DA10 GA05 HA23

5F072 AB07 AK06 KK30 QQ07 YY17

5K102 AA11 AA15 AA48 LA33 MA03 MB06 MC14 MD01 MD03 MH04

MH13 MH15 MH18 MH21 MH22 PC12 PH13 PH41 PH42 PH47

PH48 PH49 RD26